

DESENVOLVIMENTOS NECESSARIOS PARA O FRESAMENTO EM 5 EIXOS SIMULTANEOS¹

*Jefferson de Oliveira Gomes²
Alex Sandro de Araújo Silva³
Guilherme Oliveira de Souza⁴*

Resumo

A aplicação do fresamento em 5-eixos simultâneos resulta em reduções significativas de tempos e custos de processo, devido a uma otimização do contato entre ferramenta e peça, que permite uma adequação mais aprimorada ao contorno de superfícies complexas pela ferramenta. No entanto, desde a etapa de desenvolvimento dos produtos, passando pela modelagem das próprias máquinas-ferramentas e o desenvolvimento de interpolações específicas, são necessárias ações que possam ser aplicáveis no processo de usinagem. Este artigo apresenta estas respectivas ações, assim como comparativos entre os fresamentos em 5-eixos simultâneos e em 3-eixos. Os resultados mostram, para este caso, uma redução de tempo de 99% sem detrimento da qualidade superficial.

Palavras-chave: Fresamento em 5-eixos simultâneos; Fresamento em 3-eixos; Superfícies complexas.

¹ 3º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 10 a 12 de agosto de 2005, São Paulo, SP.

² Professor Doutor do ITA e Coordenador de Desenvolvimento e Projetos do CCM/ITA

³ Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento do CCM/ITA e Mestrando do ITA

⁴ Engenheiro de Pesquisa e Desenvolvimento do CCM/ITA e Mestrando do LMP/UFSC/ITA

1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a fabricação de superfícies complexas, como as encontradas nas indústrias de moldes e matrizes, automotiva e aeronáutica, é realizada em operações de fresamento em centros de usinagem CNC de 3-eixos, com ferramentas de topo esférico. A utilização de máquinas-ferramenta de 5-eixos permite uma maior flexibilidade de processo, pois são obtidas drásticas reduções de tempos de preparação de máquina e peça, menores custos por peça, usinagens mais precisas, e qualidade de superfícies aprimorada (Altmüller, 2001).

Os principais problemas encontrados na implementação do fresamento em 5-eixos simultâneos estão baseados na modelagem das superfícies complexas em CAD e no desenvolvimento de algoritmos efetivos que permitam o uso de métodos alternativos de geração de trajetórias de ferramentas, uma vez que essa tarefa sempre esbarra na complexidade matemática (Choi, 1997, Chen, 2001, Gomes, 2001).

Convencionalmente, a modelagem de superfícies complexas é feita a partir de arcos, elipses e linhas (Figura 1). Características, tais como superfícies descontínuas e “trimadas”, que são resultado de curvas de intersecção por operações booleanas, não coincidentes com as curvas isoparamétricas originais, podem causar problemas de descontinuidade da trajetória (para superfícies trimadas) e de colisão, pois a ferramenta tende a buscar o ponto de referência.

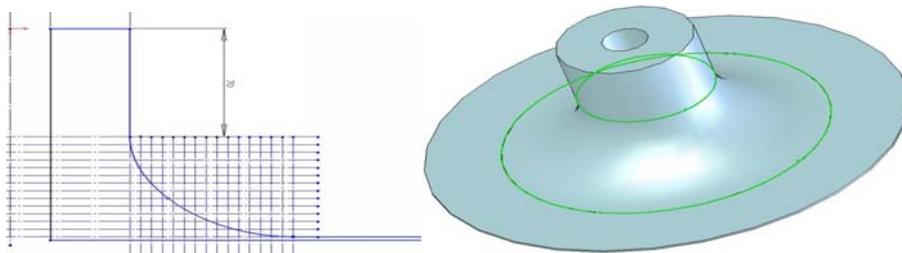


Figura 1. Sólido gerado a partir de operação de revolução em torno de um eixo, mostrando descontinuidade nas superfícies.

Para o fresamento em 5 eixos simultâneos é necessária a modelagem de formas complexas com o uso de NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*), que são representações matemáticas de geometrias 3D, que podem precisamente descrever qualquer forma (Figura 2) (Christman, 2002).

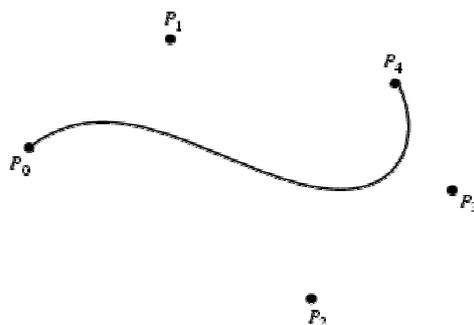


Figura 2. Pontos de controle numa curva de Bézier (Rhinceros, 2005).

Os sistemas CAM para fresamento 5-eixos têm a sua geração de trajetória de ferramenta, ainda muito dependente do nível de conhecimento e da interação do usuário. Para a geração de trajetória de ferramentas vários métodos têm sido desenvolvidos. Os métodos comumente usados podem ser classificados como (Dragomatz, 1997):

- Métodos iso-paramétricos.
- Métodos iso-planares ou cartesianos.
- Métodos com altura de cristas constante (*iso-scallop*).

Todos esses métodos iniciam a determinação da trajetória a partir das bordas da superfície. A trajetória adjacente à última é determinada baseada nesta e assim por diante.

A otimização da relação entre a geometria da superfície e a geração da trajetória está baseada na determinação de trajetórias paralelas às bordas mais longas de uma superfície ou no alinhamento da trajetória da ferramenta à curvatura principal de uma superfície.

Uma vez definidas as características geométricas da peça para o fresamento em 5 eixos simultâneos, parte-se então para a otimização das características de contato ferramenta-peça.

Paralelamente a esse desenvolvimento, no fresamento em 5 eixos simultâneos é necessária uma simulação mais realística do processo de usinagem do que no fresamento em 3 eixos. Com existem dois eixos a mais de rotação, deve-se verificar eventuais interferências de movimentos, que gerem possíveis colisões.

A tomada de decisão para o fresamento em 5 eixos simultâneos deve ser realizada baseada nas necessidades periféricas para a aplicação dessa tecnologia. Devem-se relacionar essas necessidades desde a etapa de desenvolvimento do produto, na seqüência de modelagem.

A seguir será mostrada uma aplicação típica para essa tomada de decisão, baseada na comparação de um fresamento em 3 e 5 eixos para um mesmo produto. A tomada de decisão e as possíveis constatações estão baseadas na análise do tempo de ciclo para a fabricação.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A execução das peças foi realizada em um centro de usinagem 5-eixos C 600U, da Hermle, cujos movimentos de translação ficam a cargo do fuso, e os de rotação, eixos A e C nesse caso, são feitos pela mesa. Ele está equipado com um comando numérico Sinumerik 840D, da Siemens. O programa CAM utilizado para gerar e pós-processar as trajetórias de ferramenta foi o Unigraphics NX3, da UGS Solutions. A peça utilizada como meio de comparação foi de aço SAE 1040 (Figura 3)

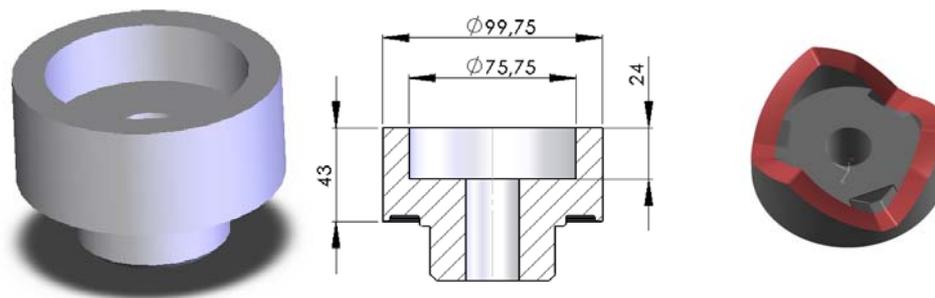


Figura 3. Modelo CAD da peça bruta e acabada (em mm).

A definição da usinagem em 3-eixos foi feita tomando-se como bases a geometria da peça, a segurança de processo e a produtividade, com uma ferramenta de metal-duro (Sandvik) de topo esférico. Devido ao menor raio côncavo apresentado pela região a ser usinada no produto, utilizou-se uma ferramenta de diâmetro 4 mm. Como estratégia, decidiu-se pela usinagem em espiral de Arquimedes no plano XY.

Neste caso, utilizou-se uma velocidade de corte (v_c) de 200 m/min, avanço por dente, f_z , de 0,07 mm e penetração de trabalho, a_e , de 0,1 mm, necessária para uma rugosidade teórica desejada, estipulada em 5 μ m.

Para o fresamento em 5 eixos simultâneos definiu-se uma inclinação constante, na direção do avanço, entre a haste da ferramenta e a normal da superfície a ser usinada (Figura 4).

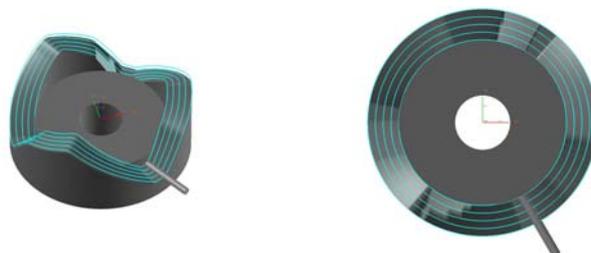


Figura 4. Método da ferramenta inclinada.

O tipo de ferramenta que melhor se ajusta ao fresamento periférico é o de topo reto ($D=4$ mm, $z=2$). Neste caso, utilizou-se uma velocidade de corte (v_c) de 200 m/min, avanço por dente, f_z , de 0,07 mm e penetração de trabalho, a_e , de 0,05 mm, necessária para uma rugosidade teórica desejada, estipulada em 5 μ m.

Com o intuito de analisar a cinemática dos eixos realizou-se a aquisição de dados de posicionamento e velocidade real nos mesmos durante o fresamento. Para tal equipou-se um microcomputador com um adaptador de rede, modelo SIMATIC NET CP 5611 module, da SIEMENS, que possui interface PROFIBUS, permitindo uma comunicação direta entre o computador e os CLP's da máquina-ferramenta utilizada. O micro em questão possui um processador de 1,7 GHz, e 256 MB de memória RAM. Para aquisição e análise dos dados fez-se uso de rotinas construídas no software Labview.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 5 mostra o posicionamento ao longo do tempo dos três eixos de translação do centro de usinagem para o acabamento.

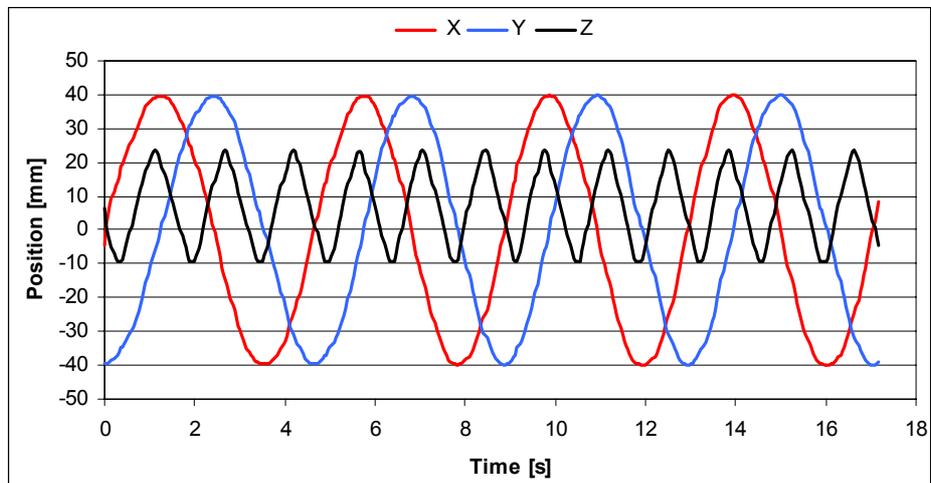


Figura 5. Posição dos eixos de translação.

Na Figura 6 é mostrada a evolução da velocidade dos eixos, assim como a velocidade efetiva de avanço, que está em função do tempo. Percebe-se um comportamento semelhante dos eixos X e Y, descrevendo uma curva senoidal, mas defasadas, uma em relação à outra de 90° . Isto condiz com o perfil circular da peça no plano XY, já que nesses eixos o posicionamento deveria variar suavemente entre pontos de mínimo e máximo. A amplitude menor e a frequência maior da curva do eixo Z, também refletem a geometria da peça, podendo-se observar uma frequência três vezes maior do seu movimento, devido aos três relevos idênticos que o componente apresenta.

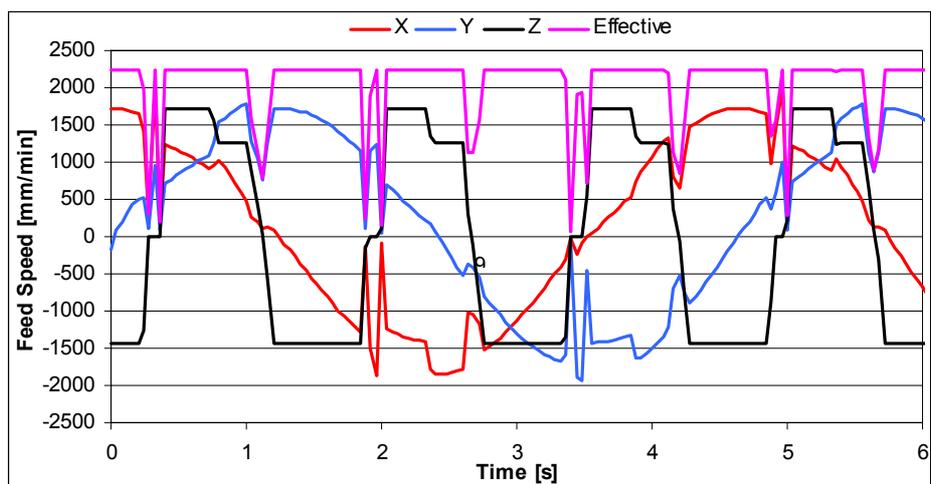


Figura 6. Velocidade de avanço nos três eixos de translação.

No caso de fresamento em 5 eixos simultâneos, torna-se necessária a utilização de uma função do CN para esse tipo de usinagem, o TRAORI, que torna o sistema de

coordenadas dinâmico, fazendo com que este, e como consequência também a ferramenta, acompanhem a peça quando ela é transladada ou rotacionada. Dessa forma, os eixos de translação plotados não correspondem aos eixos cartesianos, e por isso recebem a notação ' nas figuras que seguem (Figura 7).

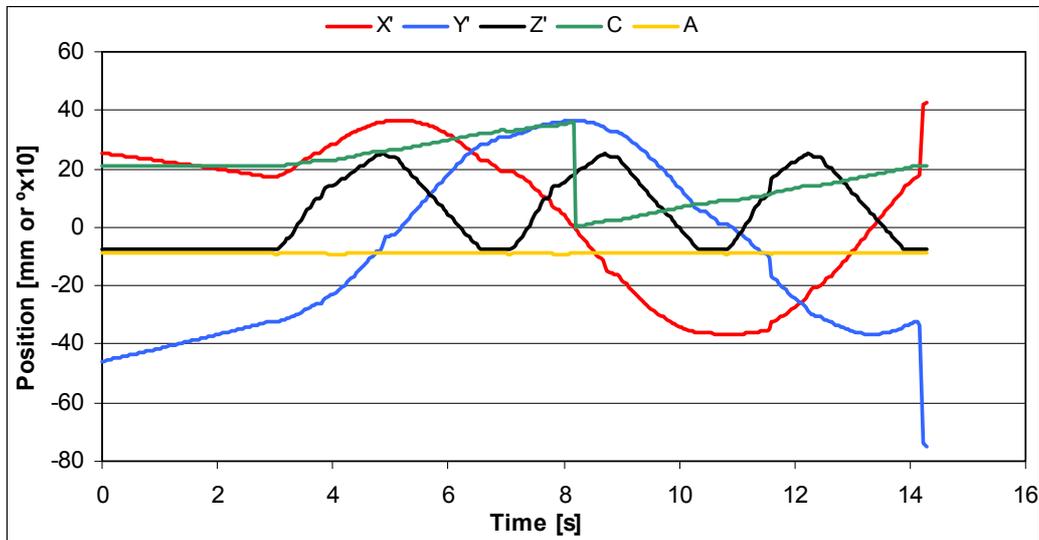


Figura 7. Posição dos eixos de rotação e translação durante a usinagem em 5 eixos simultâneos.

Os eixos X', Y' e Z' apresentam um comportamento semelhante ao apresentado pelos correspondentes a esses na usinagem anterior. Porém nota-se uma menor uniformidade nas curvas, o que é coerente com o observado no momento do fresamento, que apresentou movimentos menos suaves e freqüentes interrupções destes. Isto se deve a complexidade cinemática e dinâmica envolvida.

A Figura 8 endossa essas afirmações com a constatação da variação das velocidades. Percebe-se também que em nenhum momento a velocidade de avanço programada foi obtida nesse caso. Supõe-se que isto se deva a uma limitação de velocidade dos eixos rotativos imposta pelo próprio fabricante da máquina.

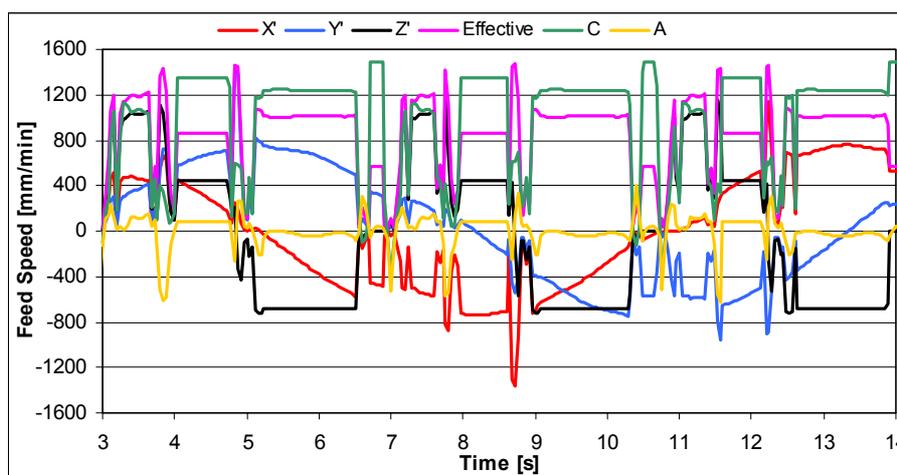


Figura 8. Velocidade de avanço dos eixos durante o fresamento em 5 eixos.

Mesmo com essa limitação do movimento de avanço em 5 eixos simultâneos, observou-se no estudo de caso descrito que o tempo necessário para a fabricação de uma forma em 3-eixos foi de 27 minutos enquanto que em 5-eixos simultâneos o

tempo foi de 1 minuto e 20 segundos, resultando em uma significativa redução de tempo.

4 CONCLUSÕES

Dentro do contexto de manufatura moderna, o fresamento em 5-eixos simultâneos se mostra uma ferramenta aplicável para a diminuição dos tempos de ciclos. No entanto, para sua aplicação segura, desde a etapa de desenvolvimento do produto, na modelagem até a etapa de geração de trajetórias são necessárias técnicas, tais como a modelagem de superfícies com NURBS, a modelagem da máquina-ferramenta no software CAM, bem como o conhecimento das limitações dos equipamentos disponíveis. Somam-se a isso problemas cinemáticos e dinâmicos, em que a velocidade de avanço programada é limitada pela velocidade dos eixos rotativos.

Isso pode ser observado no estudo de caso descrito neste artigo onde o tempo necessário para a fabricação de uma forma em 3-eixos foi de 27 minutos enquanto que em 5-eixos simultâneos o tempo foi de 1 minuto e 20 segundos, resultando em uma significativa redução de tempo, mantendo o acabamento da superfície usinada dentro dos limites esperados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Altmüller, S., "Fünf-achs-fräsen von freiformflächen aus titan", 2001. Aachen: dissertation RWTH Aachen. 198p.
- 2 Christman, A., Evolution of CAM Software, Online Article, Fev 2002.
- 3 Choi, B.K., Kim D.H. and Jerard R.B., 1997, "C-space approach to tool-path generation for die and mold machining", Computer Aided Design, Vol. 29, No.9, pp. 657-669.
- 4 Chen, S.L. and Wang W.T., 2001, "Computer aided manufacturing technologies for centrifugal compressor impellers", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 115, No. 3, pp. 284-293.
- 5 Dragomatz D, Mann S. A classified bibliography of literature on NC milling path generation. Computer-Aided Design 1997; 29(3): 239-47.
- 6 Gomes, J.O., 2001, "Fabricação de superfícies de forma livre por fresamento no aço temperado DIN 1.2083, na liga de alumínio (AMP8000) e na liga de cobre (CuBe)", Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 150 p.
- 7 Rhinoceros®, NURBS modeling for Windows, pagina da internet: www.rhino3d.com , 2005.